

トマト果実自動収穫のための生育状態マップの導入

著者	藤永 拓矢
発行年	2021-03-25
学位授与番号	17104甲生工第406号
URL	http://hdl.handle.net/10228/00008317

氏 名	藤 永 拓 矢
学位の種類	博 士（工学）
学位記番号	生工博甲第406号
学位授与の日付	令和3年 3月 25日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	トマト果実自動収穫のための生育状態マップの導入
論文審査委員会	委員長 准教授 我 妻 広 明
	教 授 石 井 和 男
	” 林 英 治
	准教授 宮 本 弘 之

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、トマト菜園内の果実の情報（生育状態（成熟段階、収穫時期）、位置、収穫しやすさ）を持つ生育状態マップの生成手法を提案している。生育状態マップを導入することにより、収穫ロボットが収穫可能な果実の個数及び収穫に要する時間の推定が可能となる。菜園管理者は、出荷可能な成熟段階や収穫時期を指定し、収穫量の見積もりを把握する。実際にトマト菜園における検証実験を実施し、その結果、生育状態マップを活用してトマト果実自動収穫を行えること、菜園管理者の作業の省力化が期待できる。本研究で開発した吸引切断機構を有するトマト収穫ロボットについて述べ、実環境で実施した収穫実験の結果を考察した論文である。その生育状態マップの技術として、①栽培領域のモザイク画像の生成、②トマト果実の検出及び生育状態の推定、③収穫しやすさの評価、について第2章、第3章、第4章で述べ、第5章で考察、第6章で結論としている。

第1章では、研究背景及び関連研究を述べ、本論文で着目する問題点を明確にし、目的及び研究概要を述べている。日本の農業における社会問題（農業従事者の減少、高齢化、後継者不足）や世界の人口増加による食糧需要量の増加に伴い、ロボット技術や情報通信技術を活用して、農作業の自動化、熟練者のノウハウの情報化を目指したスマート農業の実現が期待されている。著者はトマト栽培の監視及び収穫の自動化に焦点を当て、ロボットによるトマトの監視及び収穫のシステム化の実現を目指し、生育状態マップの導入の必要性を述べている。

第2章では、栽培領域のモザイク画像の生成手法について述べている。モザイク画像の生成では、連続する画像をどのように重ね合わせるかが課題である。一般的に、モザイク画像の生成には、画像内で抽出された特徴点での識別性が重要である。しかし、栽培領域内は、似た特徴を持つ物体（果実、茎、葉）が混同するため、RGB画像を用いた単純なマッチング手法では特徴点の正対応率が低く、モザイク画像の生成が困難であ

る。そこで、赤外線画像を用いた深度方向の限定とロボットの移動距離を用いた特徴的の探索範囲の限定によって正対応率を向上させ、赤外線画像を用いて得られたホモグラフィ行列を RGB 画像に適用して栽培領域のモザイク画像を生成する手法を提案している。

第3章では、トマト果実の検出及び生育状態の推定手法について述べている。生育状態マップは、トマトが栽培される栽培領域のモザイク画像に対して、トマト果実を検出、その果実の生育状態を付加して生成される。先行研究より、異なる成熟段階においても赤外線に対する反射応答が近いことが報告されており、トマト果実は投射光に対して中心の応答が強く、その周辺の応答が弱くなる。トマト果実の光学特性を再現実験にて確認し、その特性を活用して赤外線画像から成熟段階に関係なくモザイク画像上のトマト果実を検出できることを示している。赤外線画像から抜き出したトマト果実やそれ以外の物体（茎や葉など）の画像をデータセットとして、HOG 特徴量を抽出し、それを入力とした線形 Support Vector Machine によって生成した分類器を用いて果実を検出する。次に、検出されたトマト果実に対して、成熟段階及び収穫時期を推定する。農業従事者の経験を参考に、成熟段階を6段階に、収穫時期を3期間に分類する。その分類基準は農業従事者へ実施した調査結果に基づいており、その結果を用いて農業従事者のノウハウを定量化し、生育状態を推定する。推定手法では、検出された果実領域を入力画像として、画素毎に成熟段階及び収穫時期を判定し、全画素の判定結果に対して、頻度が最大となる成熟段階及び収穫時期をその果実の生育状態としている。

第4章では、本研究で開発中のトマト収穫ロボットを用いた収穫実験の結果を考察し、収穫しやすさの定量化を提案する。収穫実験では、収穫ロボットが収穫可能と判断した果実は65個、その内、収穫に成功した果実は55個（収穫成功率は約85%）、果実1個あたりの収穫時間が約23秒であった。収穫に失敗した場合のトマト果実の状態を定性的に評価し、本ロボット構成（3軸直交型のマニピュレータ、吸引切断型の収穫機構、俯瞰カメラ1つ）において、収穫目標果実に対する障害物（ヘタや茎、果梗）が、収穫しやすさの要因として支配的であることを述べ、その遮へい率を収穫しやすさの指標の1つとして提案する。色情報に基づき、遮へい率を算出し、その遮へい率が小さいほど収穫成功率が高いことを明らかにした。

第5章で生育状態マップの生成手法に関する考察を述べ、トマト果実を検出する際のオクルージョン問題や収穫時期の推定精度について考察している。最後に、第6章で本論文の統括及び今後の課題を述べている。

学位論文審査の結果の要旨

以上により、論文審査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。